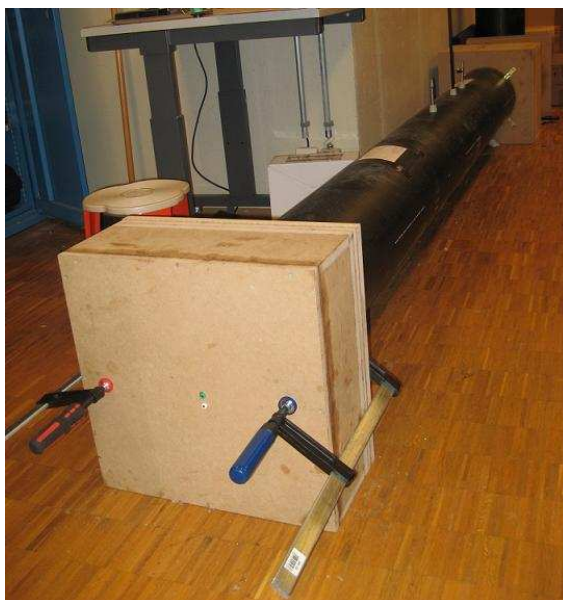


Estudio De Un Absorbente Electroacústico



Javier Rodríguez De Antonio

Junio de 2008

Laboratoire d'Electromagnétisme et d'Acoustique

Asistente: Hervé Lissek

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO Y OBJETIVOS

El problema de la atenuación del ruido de baja frecuencia todavía persiste pese a que ha sido ampliamente estudiado. Las técnicas para absorber ruido de alta frecuencia (superior a 500 Hz), como son los materiales porosos, resonadores de Helmholtz o espumas no ofrecen resultados aceptables a bajas frecuencias. Serían necesarios volúmenes impracticables de materiales porosos para intentar absorber frecuencias menores a 500 Hz, y lo mismo ocurre con los resonadores de Helmholtz.

Esta ineficacia de los materiales pasivos absorbentes tradicionales ha motivado el desarrollo de nuevas técnicas para absorber el ruido reverberante de baja frecuencia, usando altavoces y materiales con control activo.

En este trabajo se desarrolla un altavoz disipador pasivo, basado en el uso de una resistencia como absorbente de energía, y se optimizan los parámetros del altavoz y el valor de ésta resistencia disipadora.

DISEÑO DE UN ALTAVOZ ELÉCTRICO DISIPADOR

En esta sección se describe el diseño de un altavoz disipador de energía de acuerdo con determinadas características específicas. Nos centraremos en el caso de las bajas frecuencias, y en el caso de que el disipado lo lleva a cabo una resistencia. El programa usado para el diseño y los ensayos ha sido MATLAB.

Nuestro objetivo final es el de conseguir un coeficiente de reflexión igual a 0 para un rango específico de frecuencias. Podemos definir el coeficiente de reflexión como:

$$r = \frac{p_r}{p_i}$$

Pero también puede ser determinado como

$$r = \frac{Z_a - Z_c}{Z_a + Z_c}$$

Donde Z_c es la impedancia característica del medio (el aire en este caso) determinado por

$$Z_c = \rho c$$

Y Z_a es la impedancia acústica del altavoz, que es la relación entre la presión en el área de contacto de la superficie y la velocidad de volumen total que mueve esta superficie. Esto se puede expresar como:

$$Z_a = \frac{p}{v}$$

Siendo p la presión acústica y v la velocidad de volumen.

De esta forma podemos igualar el valor de la impedancia interna del altavoz a la impedancia característica del aire para reducir en lo posible el valor de r . Para introducir la parte mecánica del altavoz, la ley que tenemos que satisfacer es que la presión acústica originada por una superficie radiante está relacionada con la fuerza mecánica que la impulsa por la expresión:

$$p(t) = \frac{f(t)}{S}$$

Donde S es la superficie del elemento radiante, y también por:

$$u(t) = \frac{v(t)}{S}$$

Si usamos la misma analogía para las partes mecánica y acústica, podemos representar la transducción mecánico-acústica con un transformador tipo T.

Como se ha visto anteriormente, el diafragma de un altavoz se representa por una masa mecánica M_{MS} , una resistencia mecánica R_{MS} y una compliancia mecánica C_{MS} , y todos estos elementos se mueven con la misma velocidad. Entonces la variable velocidad debe ser común a todos ellos.

El movimiento del diafragma está relacionado con la intensidad de corriente en la parte eléctrica del altavoz por

$$V(t) = Blv$$

Donde $V(t)$ es la tensión inducida producida por el movimiento del diafragma, B es la densidad del flujo magnético, y l es la longitud del conductor. Así obtenemos un circuito eléctrico compuesto por una resistencia R_E , y una inductancia L_E .

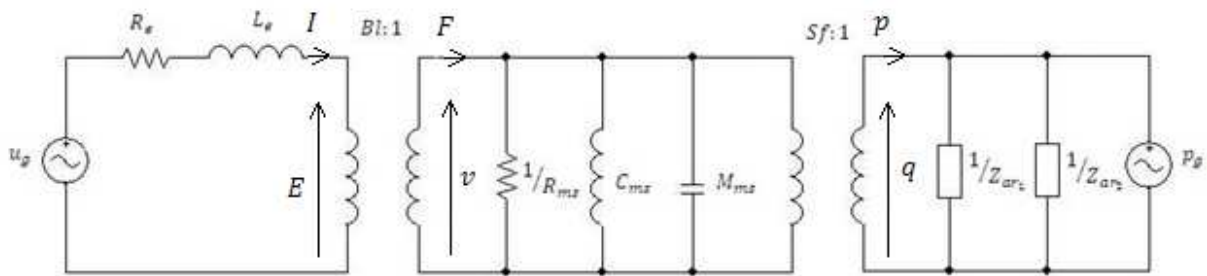


Figura 1

En la figura, Z_{ar1} y Z_{ar2} son la impedancia de radiación, y representan la oposición que presenta el aire que existe delante y detrás del diafragma al movimiento del mismo.

Si el altavoz está cortocircuitado después de los elementos eléctricos, a frecuencias por debajo del corte del filtro $1/(sL_e + R_e)$, la bobina actúa como un freno electrodinámico, y una disipación física se añade a la parte mecánica del altavoz. Se puede conectar una impedancia eléctrica apropiada a los terminales de la bobina del altavoz, para optimizar la disipación y la mitigación acústica.

Ahora podemos simplificar el circuito completo transformando los elementos mecánicos y eléctricos y las variables en elementos acústicos, considerando las relaciones de los transformadores, y podemos calcular el valor de la impedancia acústica del sistema.

Para conseguir una disipación total de la energía acústica, Z_a tiene que ser igual a Z_e , y tendremos que buscar la resistencia óptima añadida al altavoz para obtener este resultado.

Diseño del circuito pasivo

Podemos diseñar un circuito conectado a los terminales de un altavoz para alterar la respuesta a un recinto acústico unido al mismo.

Un altavoz en una caja acústica simula la respuesta de un resonador de Helmholtz. Si se pueden ajustar las propiedades de este resonador de Helmholtz virtual, el altavoz se puede usar para atenuar modos acústicos muy resonantes, de la misma manera que lo hace un resonador de Helmholtz.

A bajas frecuencias, donde $\omega \ll R_e/L_e$, la influencia del inductor L_e se puede despreciar. En este caso, la absorción se puede incrementar conectando una resistencia R a los terminales del altavoz. Ésta resistencia R , unida a la resistencia de la bobina R_e , puede emular la respuesta acústica de un resonador de Helmholtz. La absorción mecánica d del resonador queda representada en el circuito de un altavoz como una impedancia

mecánica. La resistencia eléctrica de disipación se sitúa en paralelo a esta absorción, de forma que la absorción total del resonador de Helmholtz virtual resulta:

$$d_{tot} = d + \frac{1}{R + R_s}$$

Nótese que la absorción total queda restringida en un rango entre d y $d + 1/R_s$. Un altavoz con bajo d y R_e proporcionará el mayor rango de ajuste.

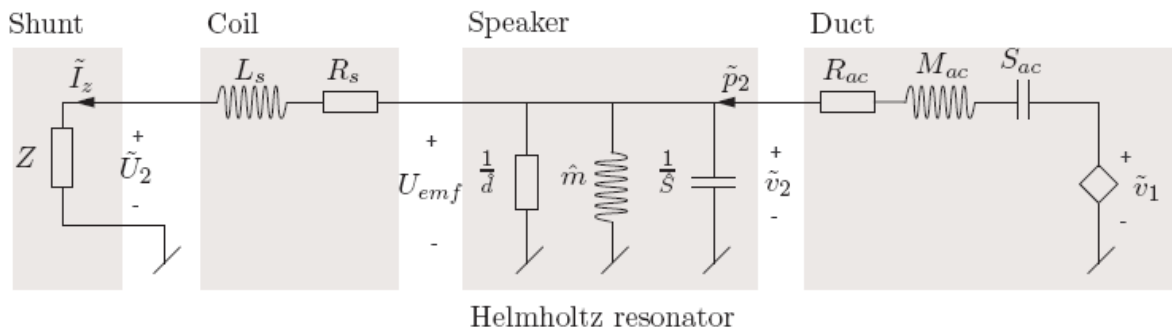


Figura 2

Diseño de una resistencia de disipación a 125 Hz

Ahora vamos a abordar el problema de la absorción a bajas frecuencias. Basándonos en el criterio anterior, podemos diseñar un equivalente eléctrico para un resonador de Helmholtz para el caso concreto de 125 Hz.

Simplificando el diagrama del altavoz disipador, en la parte eléctrica tenemos una resistencia como resultado de la unión de R_e y R_c .

$$R'_e = \frac{(Bl)^2}{S(R_e + R_c)}$$

Y una inductancia representada por un condensador de valor:

$$L'_e = \frac{(Bl)^2}{Sf^2L_e}$$

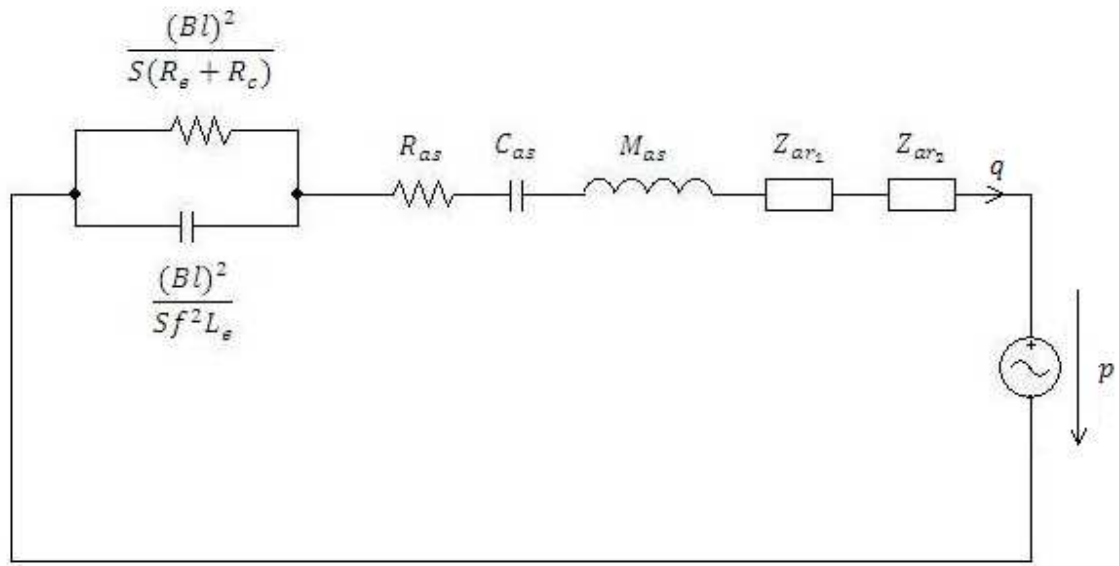


Figura 3

Al estar trabajando a bajas frecuencias, tenemos $\omega \ll \omega_c$ y podemos despreciar el valor del condensador y eliminarlo. También podemos usar las impedancias acústicas obteniendo una única impedancia Z_{ar} .

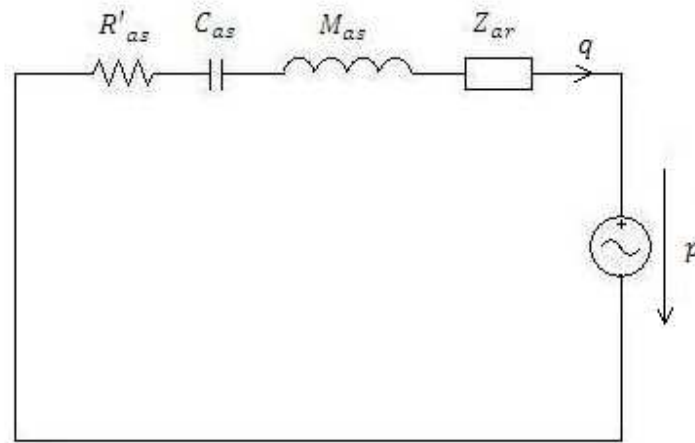


Figura 4

Donde

$$R'_{as} = R_{as} + R'_s$$

Es la suma de las resistencias acústica R_{as} y eléctrica resultante incluyendo la resistencia de disipación R'_s .

Entonces el criterio es igualar la resistencia equivalente a la impedancia característica del aire Z_e :

$$R_{as} + \frac{(Bl)^2}{S(R_s + R_e)} = \rho c$$

Y a partir de ahí, resulta sencillo obtener el valor de la Resistencia de disipación R_e :

$$R_e = \frac{(Bl)^2}{\rho c S - R_{ms}} - R_s$$

Ahora la ecuación en el dominio temporal para el circuito simplificado es:

$$p(t) = R'_{as}(v(t)) + M_{as} \frac{\partial v(t)}{\partial t} + C_{as} \int v(t) dt + M_{ar} \frac{\partial v(t)}{\partial t} + R_{ar}$$

Donde la impedancia acústica de radiación ha sido dividida en una masa y una resistencia.

Y en el dominio de Laplace:

$$P(s) = R'_{as} V(s) + sM_{as} V(s) \frac{1}{sC_{as}} V(s) + sM_{ar} V(s) + R_{ar} V(s)$$

De modo que podemos obtener la impedancia acústica del sistema 3049, reescribiendo la ecuación como:

$$Z(s) = \frac{P(s)}{V(s)} = R'_{as} + sM_{as} \frac{1}{sC_{as}} + sM_{ar} + R_{ar}$$

Parámetros del altavoz

Elegimos un diafragma de 0.1 m y una bobina muy ligera: El número de espiras del cable es $N = 1$; el diámetro: $d_w = 1 \exp(-3)$; El campo magnético es de $B = 1$; La longitud de la bobina es $L = (2\pi 0.01)N = 0.0628 \text{ m}$; La superficie de la sección del cable es: $s = (\pi d/2)^2 = 7.854 \exp(-7)$; De modo que obtenemos una masa de la bobina igual a $M_{mc} = \rho_{mc} Ls = 4.4216$; Donde $\rho_{mc} = 8960$ es la densidad del cobre, y un factor de fuerza $Bl = 0.0628$

Con esta información y fijando el valor de la frecuencia de resonancia en 125 Hz, podemos obtener los valores de los parámetros mecánicos del altavoz:

$$M_{ms} = M_{mc} + M_{md} = 0.0083 \text{ Kg}$$

$$C_{ms} = \frac{1}{M_{ms}(2\pi fs)^2} = 1.9541 \exp(-4)$$

$$R_{ms} = 1$$

De donde extraemos los valores de los parámetros eléctricos y acústicos equivalentes, así como los valores de la suma de resistencias R'_{as} y de la resistencia óptima R_e , para la disipación a 125 Hz.

Y ahora podemos obtener la curva de impedancia Z_a del altavoz:

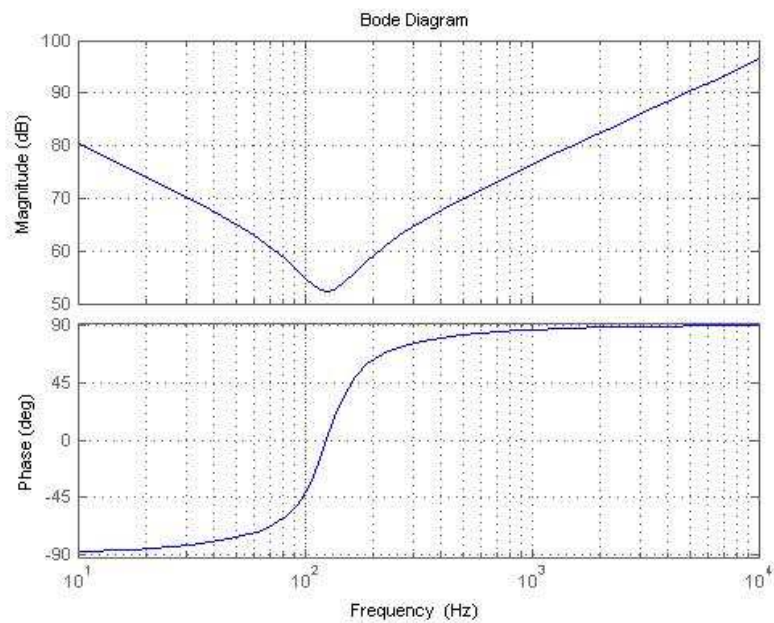


Figura 5

Y de la admitancia acústica Z_c/Z_a :

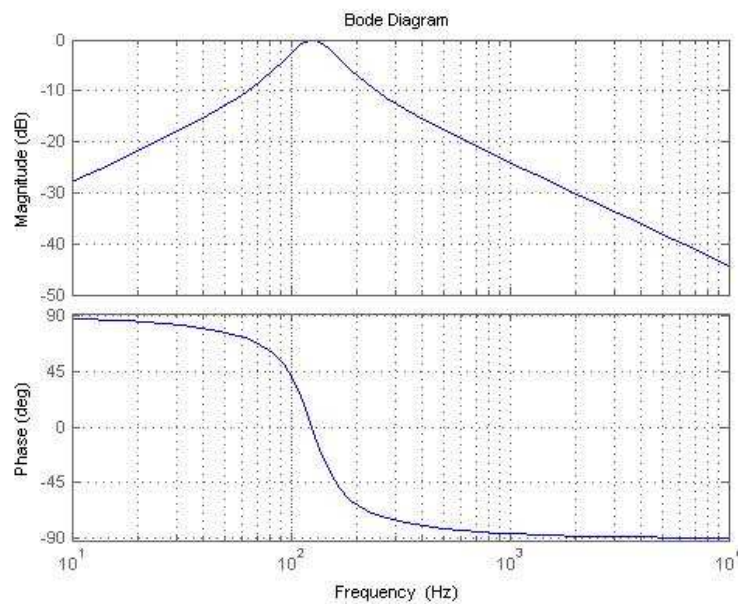


Figura 6

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN ALTAVOZ DISIPADOR

Podemos determinar el coeficiente de absorción de un material usando un tubo de impedancia, de acuerdo con la norma ISO 10534-2. Este método consiste en el uso de un tubo de impedancia, dos micrófonos, y un analizador numérico de frecuencias. También podemos determinar la impedancia o admitancia acústica en la superficie del material absorbente.

La fuente sonora se sitúa en uno de los extremos del tubo, y el material sometido al test (el altavoz en este caso), se coloca en el otro extremo. Las ondas planas se generan dentro del tubo por la fuente de ruido, y la descomposición del campo de interferencias se realiza por la medida de las presiones acústicas en dos puntos fijos usando dos micrófonos incrustados en la pared del tubo o un micrófono a lo largo del mismo.

Las medidas quedan determinadas en función de la frecuencia con una resolución marcada por la frecuencia de muestreo y la longitud reistrada de la frecuencia numérica del sistema de análisis usado para las medidas. El dominio de frecuencia útil depende de la longitud del tubo y del espaciamiento entre los micrófonos. Se puede obtener un mayor rango de frecuencias combinando medidas de diferentes longitudes y espaciamientos.

Resultados

Para las siguientes medidas, se ha usado un tubo de impedancia terminado en un altavoz SPH-300TC montado en una caja de 50x50x34, que actúa como una compliancia de valor:

$$C_{as} = \frac{V_{as}}{1.4 \exp(5) \cdot S f}$$

Donde V_{as} es el volumen de aire en la caja, y $1.4 \exp(5)$ es el coeficiente de compresión adiabático del aire.

Montados en la pared del tubo, existían dos micrófonos Norsonic 1201 conectados al sistema de análisis de señal PULSE.

Para el altavoz cortocircuitado, el coeficiente de absorción y el valor de la admitancia acústica para cada frecuencia se muestran en las figuras 7 y 8, respectivamente y para el altavoz terminado en una resistencia estas curvas se muestran en las figuras 9 y 10:

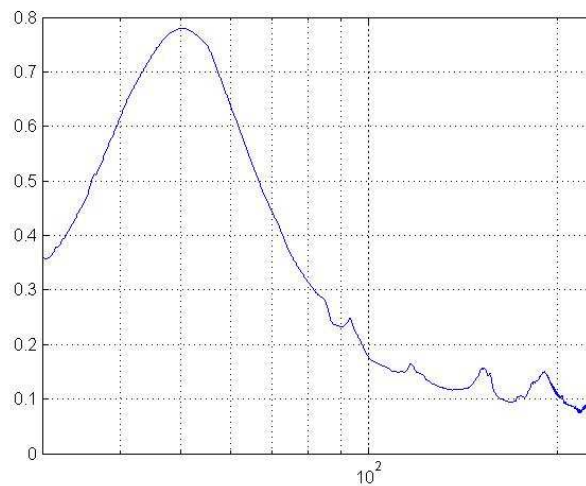


Figura 7

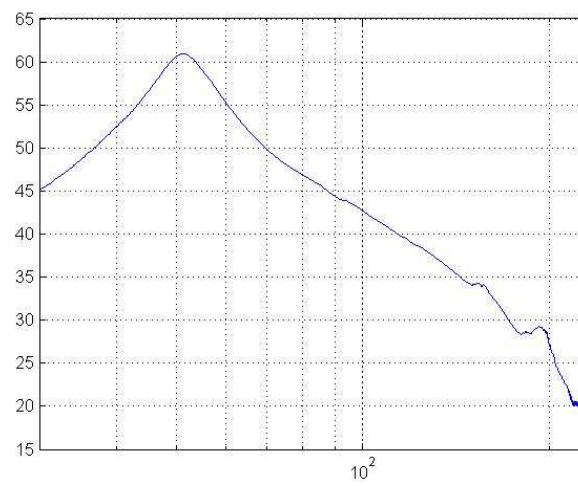


Figura 8

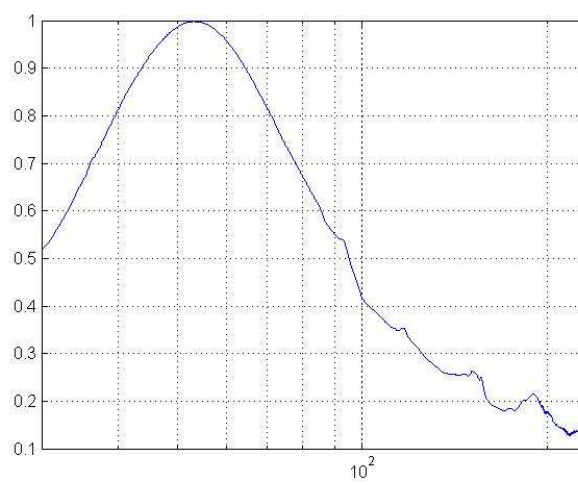


Figura 9

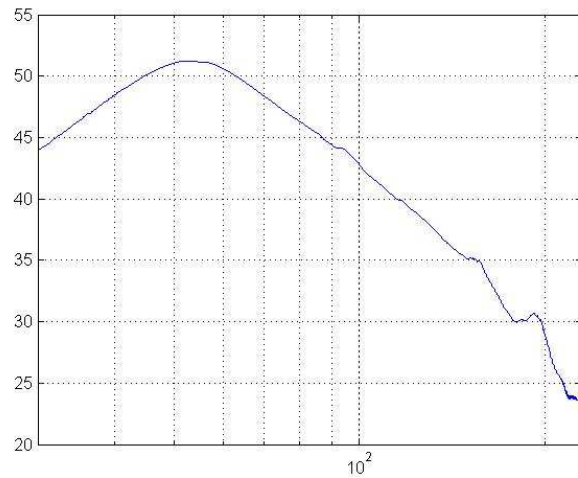


Figura 10

CONCLUSIONES

El principal objetivo de este trabajo era optimizar los parámetros de un altavoz para conseguir absorción total en un rango específico de bajas frecuencias. En este caso, el altavoz más útil es un altavoz pasivo, terminado en una resistencia, de forma que su funcionamiento sea similar a un resonador de Helmholtz.

La frecuencia de resonancia es donde se puede obtener la absorción total. Moviendo esta frecuencia a lo largo del espectro, y cambiando su forma, es posible variar el valor de la masa mecánica y la compliancia.

Con los diseños de MATLAB se ha visto que es posible conseguir absorción total en bajas frecuencias, a pesar de que son necesarios materiales extremadamente ligeros para construir el altavoz.

Las pruebas experimentales con el tubo de impedancias han demostrado que el prototipo funciona, de forma que una vez conseguidas las características óptimas del altavoz, es posible construir paneles de este tipo de altavoces para controlar la reflexión de un recinto.

